

# QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO ESTADO DE SÃO PAULO, EM POÇOS TUBULARES UTILIZADOS PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO.

**Mara Magalhães G. Lemos<sup>1</sup>; Maria de Fátima B. da Silva<sup>2</sup>; Claudio L. Dias<sup>3</sup>;  
Edson Marcus Bucci<sup>4</sup> & Dorothy C. Pinati Casarini<sup>5</sup>**

**RESUMO** - A CETESB, em atendimento ao Decreto nº 32.955/91 que regulamenta a Lei Estadual 6.134/88, desenvolve desde 1990, o monitoramento da qualidade do recurso hídrico subterrâneo, caracterizando e avaliando a sua qualidade para abastecimento público no Estado de São Paulo.

A rede de monitoramento é composta por 132 poços captando água em diferentes aquíferos, sendo realizadas coletas semestrais, para determinação de 34 parâmetros.

Os Aquíferos monitorados são, Guarani (livre e confinado), Bauru (Adamantina e Santo Anastácio), Tubarão (Itararé), Serra Geral, Taubaté e Cristalino. Os resultados indicam excelente qualidade das águas, podendo-se constatar em alguns poços tubulares indícios de contaminação por nitrato e cromo total, principalmente no Sistema Aquífero Bauru, que é um dos mais suscetíveis à contaminação, devido a extensão de sua área aflorante. Foi possível também determinar os valores de referência de qualidade para os principais metais para aquíferos livres a semi-confinados e confinados.

Esse trabalho apresenta os resultados de monitoramento no período de 1997 a 2000 e discute a questão da influência antrópica na qualidade das águas subterrâneas.

**ABSTRACT** - CETESB, in service of the Ordinance no. 32.955/91 which regulates the State Law 6.134/88, develops since 1990, the quality monitoring of the hydric underground resource, characterizing and evaluating the groundwater quality for public supply in the São Paulo state.

The monitoring net is composite by 132 wells which capture in different aquifers, sampling twice a year for the determination of 34 parameters.

---

<sup>1</sup> CETESB - Setor de Qualidade de Solos e Águas Subterrâneas - Av. Prof. Frederico Hermann Jr. 345 Pinheiros São Paulo CEP 05489-900 - [maral@cetesb.sp.gov.br](mailto:maral@cetesb.sp.gov.br)

<sup>2</sup> CETESB - Agencia Ambiental de Limeira - [mfatimas@cetesb.sp.gov.br](mailto:mfatimas@cetesb.sp.gov.br)

<sup>3</sup> CETESB - Gerente do Setor de Qualidade de Solos e Águas Subterrâneas [claudiod@cetesb.sp.gov.br](mailto:claudiod@cetesb.sp.gov.br)

<sup>4</sup> CETESB – Setor de Qualidade de Solo e Águas Subterrâneas – [marcusb@cetesb.sp.gov.br](mailto:marcusb@cetesb.sp.gov.br)

<sup>5</sup> CETESB – Gerente da Divisão de Qualidade de Solo, Águas Subterrâneas e Vegetação - [dorothy@cetesb.sp.gov.br](mailto:dorothy@cetesb.sp.gov.br)

The monitored aquifer are: Guarani, Bauru (Adamantina e Santo Anastácio), Tubarão (Itararé), Serra Geral, Taubaté e Cristalino. The chemical results were compared with the drinking water standards, showing excellent quality of these waters for human consumption, but some wells have problems concerning nitrate and chromium contamination, mainly in Bauru Aquifer, which is more susceptible to contamination than other aquifers, because its largest area of outcrops.

It was possible to define reference values for groundwater quality to several metals for two geological formation which are free aquifer and confined aquifer.

This article shows the aquifers monitoring data in the period of 1998 – 2000 and discuss the questions about some wells contamination.

**Palavras -chaves:** poço de abastecimento, hidrogeoquímica, qualidade

## INTRODUÇÃO

Segundo levantamento efetuado pela CETESB, 1997 [1], 462 (72%) dos municípios no Estado de São Paulo são total ou parcialmente abastecidos por águas subterrâneas, atendendo uma população de 5.525.340 habitantes.

Embora as águas subterrâneas sejam naturalmente mais protegidas dos agentes contaminantes do que as superficiais, a grande expansão das atividades antrópicas, nas áreas urbanas e rurais, tem provocado a poluição pontual das águas subterrâneas, sobretudo em locais com deposição inadequada de resíduos sólidos (industriais e domiciliares), armazenamento, manuseio e descarte inadequados de produtos químicos, efluentes, incluindo o uso indiscriminado de agrotóxicos e fertilizantes. Observa-se ainda que, os próprios poços tubulares, cisternas e cacimbões, quando construídos sem o devido acompanhamento técnico de profissional capacitado e fora das exigências das normas técnicas, constituem-se em possível fonte de contaminação dos aquíferos, comprometendo a sua qualidade, particularmente devido à contaminação por agentes biológicos, associados à falta de saneamento básico.

Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados do período 1998-2000 obtidos na rede monitoramento da qualidade das águas subterrâneas realizado pela CETESB, 2001 [2], em poços tubulares para abastecimento público no Estado de São Paulo, contribuindo para a caracterização da qualidade natural dos diversos aquíferos do estado e discutindo os indícios contaminação de alguns poços que apresentando concentrações elevadas de nitrato, cromo total e coliformes fecais/totais.

## **METODOLOGIA**

As amostras de águas subterrâneas são coletas semestralmente (março e setembro), em 132 poços captando água em diferentes aquíferos, para determinação de 34 parâmetros. A coleta é realizada segundo procedimentos descritos por AGUDO *et al.*, 1989 [3].

Os parâmetros determinados foram os seguintes: Temperatura, pH, Condutividade Elétrica, Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), Cromo Total (Cr), Dureza Total, Ferro Total (Fe), Fluoreto ( $\text{F}^-$ ), Nitrogênio Amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), Nitrogênio Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), Nitrogênio Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), Nitrogênio Total Kjeldahl, Potássio ( $\text{K}^+$ ), Sólidos Dissolvidos Totais, Alcalinidade Hidróxido, Alcalinidade Bicarbonato, Alcalinidade Carbonato, Alumínio (Al), Arsênio (As), Bário (Ba), Cádmiio (Cd), Carbono Orgânico Dissolvido, Chumbo (Pb), Dureza de Magnésio, Dureza de Cálcio, Magnésio (Mg), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Sódio (Na), Sulfato ( $\text{SO}_4$ ), Resíduo Seco à 180°C, Contagem Padrão de Bactérias, Coliformes Totais, Coliformes Fecais.

As determinações analíticas foram realizadas nos laboratórios da CETESB de acordo com Standard Methods ..., APHA, 1998 [4].

### **Valores orientadores**

Para definir-se se o resultado analítico indicava contaminação comparou-se com os padrões de potabilidade da Portaria nº 1469, de 29.12.2000, do Ministério da Saúde [5], que dispõe sobre procedimentos e responsabilidades inerentes ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano, estabelece o padrão de potabilidade da água para consumo humano, e da outras providências.

Além dos padrões de qualidade estabelecidos por lei, a CETESB, nos últimos anos, trabalhou no sentido de estabelecer valores orientadores para solos e águas subterrâneas, no Estado de São Paulo, que foram publicados no Relatório CETESB de Estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade e de Intervenção para Solo e Água Subterrânea no Estado de São Paulo, 2001 [6], tendo sido normatizado pela publicação no Diário Oficial do Estado [7].

Os valores de referência de qualidade foram estabelecidos como sendo os valores do 3º quartil, (75% dos dados) para metais e o limite de detecção do método analítico para as substâncias orgânicas antropogênicas.

Os valores de intervenção para águas subterrâneas foram estabelecidos como sendo os padrões de potabilidade da Portaria 1.469/00. Para substâncias que não estão regulamentadas pelas Portarias do Ministério da Saúde, derivou-se um valor, a partir de uma concentração máxima aceitável para consumo humano para o solo em um cenário agrícola/APMax.

## **Avaliação e tratamento estatístico dos dados**

Os resultados analíticos foram compilados em planilhas eletrônicas para realização de uma avaliação de consistência a partir de análise estatística descritiva, retirando-se aqueles resultados considerados discrepantes. Destaca-se que a mudança de metodologia analítica diminuindo os limites de detecção, contribuiu sensivelmente para as incertezas verificadas, principalmente para metais.

A planilha de cálculos utilizada para a caracterização da hidrogeoquímica natural, não contém os resultados que indicavam contaminação antrópica. Pois, foi separado os conjuntos de resultados analíticos de nitrato e cromo total, relativos aos poços que apresentaram concentrações maiores do que 5,0 mg/L de N e 0,05 mg/L de Cr, respectivamente.

Os aquíferos caracterizados foram Guarani porção livre e confinada, Adamantina, Santo Anastácio, Itararé, Taubaté, Serra Geral e Cristalino.

A caracterização hidrogeoquímica das águas foi elaborado por sistema aquífero usando o diagrama de Piper - software AquaChem. Neste diagrama, plota-se em duas bases triangulares os resultados (porcentagem de miliequivalentes) para os cátions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) e os ânions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$ ), possibilitando a classificação das águas em função da concentração de íons.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Hidrogeoquímica e qualidade dos Sistemas Aquíferos do Estado de São Paulo**

A Tabela 1 apresenta a síntese dos resultados obtidos da hidrogeoquímica dos Aquíferos monitorados e a Tabela 2 apresenta os valores do 3º quartil (75%).

As variações naturais de qualidade das águas subterrâneas são pequenas. Assim, características extremas ou diferentes daquelas esperadas indicam a presença de situações anômalas (corpos de minério, metamorfismo de rochas, ação antrópica).

Dentro deste contexto, há necessidade de se saber quais são os parâmetros químicos de uma determinada formação aquífera que podem ser considerados naturais ou provenientes de fontes antrópicas. O cromo total é um parâmetro que, de acordo com HIRATA e RODOLFI, 1993 [8], tem suas origens discutidas pois, apesar de existirem fortes evidências de origem natural (associada a minerais de argila e nas rochas ígneas, ao piroxênio), ainda há dúvidas sobre possíveis fontes antrópicas. Quanto a origem de fluoreto, a hipótese mais discutida é de que ele provém da lixiviação dos basaltos da Formação Serra Geral, que cobrem o Sistema Aquífero Guarani, KILMMELMANN *et al.*, 1990 [9].

Tabela 1 - Síntese dos resultados da hidrogeoquímica (amplitude de variação) das águas subterrâneas dos aquíferos monitorados no Estado de São Paulo, 1998 – 2000.

Parâmetro	Padrão Portaria 1469/00 Unidade	Guarani P.Confinada	Guarani Porção Livre	Adamantina	Santo Anastácio	Itararé	Taubaté	Serra Geral	Cristalino
Alcalin. Bicarbonato	mg/L CaCO <sub>3</sub>	0 – 186	0 – 186	7 - 171	16 - 225	31 - 299	0 - 140	0 - 153	0 - 153
Alcalin. Carbonato	mg/L CaCO <sub>3</sub>	0 – 26	0 – 26	0 – 8	0 - 28	0 – 54	0	0 - 4	0 – 10
Alcalin. Hidróxido	mg/L CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0 – 67	0 – 79	0
Alumínio Total	0,2 mg/L Al	<0,01 – 0,14	<0,01 – 0,21	<0,01 - 0,50	<0,01 - 0,18	<0,01 – 0,14	<0,01	<0,01 - 0,16	<0,01 - 0,13
Arsênio Total	0,01 mg/L As	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002 - 0,005	<0,002	<0,002 - 0,04
Bário Total	0,7 mg/L Ba	<0,4 – 0,4	<0,4 - 0,92	<0,4 - 0,46	<0,4	<0,4	<0,1 - 0,68	<0,4	<0,04 - <0,4
Carbono Org. Dissolvido	mg/L C	0,98 – 30,3	0,98 - 30,3	2,85 - 33,1	8,3 – 27,6	3,4 – 35,7	5 - 22,9	2,32 - 27,2	5,23 - 23,9
Cálcio total	mg/L Ca	0,4 – 42,6	0,4 – 42,6	2,7 - 46	3,0 - 46,8	0,55 - 49,3	3,87 - 73,8	0,71 - 35	2,65 - 238
Cádmio Total	0,005 mg/L Cd	<0,0001 – 0,003	<0,0001 - 0,003	<0,0001 – 0,0003	<0,0001 - 0,0004	<0,0001 - 0,002	<0,0001 - 0,02	<0,0001 - 0,002	<0,0001 - 0,02
Cloreto	250 mg/L Cl	0,15 – 8	0,15 - 10	0,3 - 20	0,1 - 7,5	<0,5 – 52,1	<0,15 - 3,2	0,3 - 7,5	0,3 - 13,5
Chumbo Total	0,05 mg/L Pb	<0,002 – 0,01	<0,002 - 0,01	<0,002 - 0,007	<0,002 - 0,007	<0,002 - 0,005	<0,04	<0,002 - 0,004	<0,002 - 0,04
Cromo Total	0,05 mg/L Cr	<0,0005 – 0,04	<0,0005 - 0,04	0,002 - 0,14	0,001 - 0,12	<0,0005 - 0,009	<0,0005 - 0,010	<0,0005 - 0,01	<0,0005 - 0,01
Dureza Cálcio	mg/L CaCO <sub>3</sub>	1 – 91	1 - 91	7 - 115	39 – 90	1,5 – 95,2	6 – 48	6 - 46	11,7 – 80
Dureza Magnésio	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2 – 50	1 – 50	7 – 66	15 – 88	0,2 – 81	0,31 – 10,4	5 - 43	0,47 – 54
Dureza Total	500 mg/L CaCO <sub>3</sub>	7 – 123	4 - 123	21 - 160	7 - 178	3,4 - 164	12 – 123	4,7 - 105	14,1 - 610
Ferro Total	0,3 mg/L Fe	<0,01 – 0,29	<0,01 - 1,73	<0,01 - 0,533	<0,01 - 0,12	<0,005 – 0,15	0,08 - 1,66	<0,01 - 0,28	<0,005 - 0,77
Fluoreto	1,5 mg/L F	<0,01 – 0,77	<0,01 - 0,77	0,026 - 0,88	<0,05 - 0,88	<0,05 – 2,03	<0,02 - 0,63	0,03 - 0,9	<0,05 - 1,42
Magnésio Total	mg/L Mg	0,13 – 12,1	0,13 - 12,1	0,2 - 16	0,5 - 21,3	<0,007 - 10,6	0,44 - 7,03	0,4 – 7,0	<0,007 - 13,1
Manganês Total	0,1 mg/L Mn	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,002 - 0,14	<0,009 - 0,19	<0,009	<0,002 - 0,67
Mercúrio Total	0,001 mg/L Hg	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Nitrogênio Nitrato	10 mg/L N	<0,01 – 1,38	<0,01 – 1,38	<0,01 – 4,7	<0,01 – 1,14	0,004 - 0,43	<0,01 - 0,14	<0,01 - 2,96	<0,01 - 0,57
Nitrogênio Nitrito	1,0 mg/L N	<0,001 – 0,009	<0,001 – 0,05	<0,001 – 0,011	<0,002 – 0,005	<0,002 – 0,016	<0,002	<0,005	<0,001 – 0,2
Nitrogênio Total Kjeldhal	mg/L N	<0,01 – 1,08	<0,01 – 1,08	0,02 – 0,3	<0,045 – 0,22	<0,005 – 1,6	<0,05 – 3,1	<0,01 – 0,31	<0,02 – 0,67
Potássio	mg/L K	<0,02 – 11	<0,02 - 11	0,1 - 9,9	0,03 - 9,5	<0,02 - 7,4	2,51 - 13,1	<0,02 - 4,2	0,02 - 10
Resíduo Seco 180°C	mg/L	24 – 222	19 – 222	71 – 288	46 – 395	41 – 663	77 – 184	24 – 214	42 – 950
Sódio Total	mg/L Na	0,1 - 103	<0,01 - 103	1,1 - 46	0,1 - 70	6,8 - 268	2,12 - 24,9	0,7 - 40	1,6 - 36
Sólidos Dis. Totais	1000 mg/L	20 – 210	12 - 210	70 - 281	31 - 248	43 – 686	40 - 184	29 - 221	38 - 967
Sulfato	250 mg/L SO <sub>4</sub>	<10	<10	<10	<10	<1 - 264	<10	<10	<1 - 631
Condutividade	µS/cm	21 – 315	11 - 315	66 - 348	30 - 339	59 – 1070	64 - 299	28 - 208	53 - 1143
pH	6,5-8,5	5,3 – 9,2	4,8 - 9,2	6 - 8,8	6,1 - 9,3	6,7 - 9,4	6,5 - 7,8	5,7 - 8,6	5,3 - 8,8
Temperatura	°C	21 – 36	20 - 36	20 - 31	22 - 27	20 - 28	23 - 29	21 - 28	19 – 26
Contagem Bactérias	UFC/mL	0 – 1000	0 – 3600	0 – 2700	0 – 2570	0 – 1500	0 – 500	0 - 1800	0 – 1800
Coliforme Total	0 NMP/100 mL	0 – 76	0 – 400	0 – 176	0 – 40	0 – 76	0	0 - 140	0 – 123
Coliforme Fecal	0 NMP/100 mL	0 – 20	0 – 28	0 - 88	0 – 7	0 – 32	0	0 – 5	0 - 19

Tabela 2 - Síntese dos resultados da hidrogeoquímica (3º quartil -75%), das águas subterrâneas dos aquíferos monitorados no Estado de São Paulo, 1998 – 2000.

Parâmetro	Padrão da Portaria 1469/00 e Unidade	Guarani P.Confinada	Guarani Porção Livr	Adamantina	Santo Anastácio	Itararé	Taubaté	Serra Geral	Cristalino
Alcalinidade Bicarbonato	mg/L CaCO <sub>3</sub>	92,5	17	114	116,5	156	74	85	98
Alcalinidade Carbonato	mg/L CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	0	17	0	0	0
Alcalinidade Hidróxido	mg/L CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	60	0	0
Alumínio Total	0,2 mg/L Al	0,03	0,05	0,05	0,04	0,035	<0,01	0,04	0,0225
Arsênio Total	0,01 mg/L As	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,003	<0,002	<0,002
Bário Total	0,7 mg/L Ba	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Carbono Org. Dissolvido	mg/L C	11,35	8,13	13,7	18,5	22,6	14,0	12,6	19,05
Cálcio total	mg/L Ca	20,6	3,2	22	31,5	18,73	14,1	17,2	30
Cádmio Total	0,005 mg/L Cd	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0004	0,0095	<0,0001	0,0002
Cloreto	250 mg/L Cl	1,5	2,375	5	2,5	16,2	1,7	1,5	3,64
Chumbo Total	0,05 mg/L Pb	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Cromo Total	0,05 mg/L Cr	0,003	0,001	0,04	0,05	<0,0005	0,010	0,0030	0,0006
Dureza Cálcio	mg/L CaCO <sub>3</sub>	50	5,5	64,2	82,5	69,9	23,5	31,5	71
Dureza Magnésio	mg/L CaCO <sub>3</sub>	19	11,5	39	77	33	5,62	20,5	27,15
Dureza Total	500 mg/L CaCO <sub>3</sub>	68	18	89	134,5	59,6	44,5	56,0	82,1
Ferro Total	0,3 mg/L Fe	<0,12	<0,12	<0,12	0,0680	<0,12	0,29	<0,12	<0,12
Fluoreto	1,5 mg/L F	0,1825	0,225	0,28	0,43	0,80	0,41	0,18	0,7
Magnésio Total	mg/L Mg	4,4	3,0125	8,72	10,2	3,35	1,17	4,6	5,36
Manganês Total	0,1 mg/L Mn	<0,009	<0,009	0,009	<0,009	<0,009	0,075	<0,009	0,009
Mercurio Total	0,001 mg/L Hg	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Nitrogênio Nitrato	10 mg/L N	<0,12	0,595	1,40	0,43	<0,2	0,0125	0,300	0,21
Nitrogênio Nitrito	1,0 mg/L N	<0,005	<0,005	<0,005	0,003	0,005	<0,002	<0,005	<0,005
Nitrogênio Total Kjeldhal	mg/L N	0,08	0,09	0,08	<0,055	0,39	0,5	0,08	0,30
Potássio	mg/L K	3,9	4,3	4,8	3,7	2,53	4,75	2,5	3,17
Resíduo Seco 180°C	mg/L	125	62,25	170,8	234	331	145	134,8	180
Sódio Total	mg/L Na	8,85	1,5	14,45	15,8	103	19,7	17,53	16
Sólidos Dissolvidos Totais	1000 mg/L	129	55,5	173	221	372	163	139	195
Sulfato	250 mg/L SO <sub>4</sub>	<10	10	<10	<10	24	<10	<10	14
Condutividade Elétrica	µS/cm	166,25	45,5	212	239	452	148	159,3	251
pH	6,5-8,5	7,79	6,145	7,2	8,1	9,0	7,35	7,99	7,9
Temperatura	°C	29	25	26	26	26	26	26	24
Contagem Bactérias	UFC/mL	17	24	28	47	13	1	25	20
Coliforme Total	0 NMP/100 mL	0	0	0	0	0	0	0	0
Coliforme Fecal	0 NMP/100 m	0	0	0	0	0	0	0	0

Os resultados obtidos na Rede de Monitoramento Contínuo da Qualidade das Águas Subterrâneas permitem o conhecimento da qualidade natural e hidrogeoquímica dos principais sistemas aquíferos do Estado de São Paulo, bem como, efetuar uma avaliação das alterações que possam ocorrer ao longo do tempo.

De acordo com a Tabela 1 e 2, observa-se que para os parâmetros arsênio, bário e sulfato existem resultados que estão acima dos novos padrões de potabilidade da Portaria nº 1469/00. Entretanto observa-se também que o valor do quartil 75% estão em acordo com este padrão, mostrando que a qualidade dos sistemas aquíferos para estes parâmetros são adequadas para o consumo humano, somente em alguns poços, onde está ocorrendo este fato, deverão ser observado na próxima campanha de monitoramento.

### **Sistema Aquífero Guarani**

O Sistema Aquífero Guarani apresenta águas em geral fracamente salinas, com resíduo seco a 180°C inferior a 222 mg/L, sendo que em 75% das análises realizadas, este parâmetro não ultrapassou o valor de 121 mg/L.

Na porção livre, o nitrato varia de <0,01 a 1,03 mg/L N, com 75% das concentrações menores do que 0,6 mg/L N e na porção confinada, varia de <0,01 a 1,38 mg/L N, com 75% das concentrações menores que 0,12 mg/L N.

O cálcio apresenta, em geral, concentrações baixas, inferiores a 43 mg/L, variando de 0,4 a 42,6 mg/L. Em 75% das análises realizadas, os valores são menores que 3,2 mg/L na porção livre e 20,6 mg/L na porção confinada. As concentrações de magnésio são menos elevadas, variando de 0,2 a 12,1 mg/L. Sua concentração é maior na porção confinada do aquífero. O potássio varia de <0,02 a 8,5 mg/L, com 75% dos valores menores que 4,3 mg/L em sua porção livre e de <0,02 a 11 mg/L, com 75% dos valores menores que 3,9 mg/L em sua porção confinada.

As concentrações dos metais alumínio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cromo total, ferro total, manganês e mercúrio, apresentaram-se abaixo do limite de detecção do método analítico para a maioria dos resultados.

Uma caracterização mais detalhada da hidrogeoquímica desse aquífero é apresentada no trabalho “Caracterização Hidrogeoquímica e qualidade do Sistema Aquífero Guarani obtida com dados do monitoramento efetuado pela CETESB em poços tubulares para abastecimento público no Estado de São Paulo” [10], apresentado nesse Congresso.

No aquífero confinado as águas são predominantemente bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, ocorrendo também águas bicarbonatadas sódicas. No aquífero livre observa-se a concentração de pontos, caracterizando a família das águas cloro-sulfatadas cálcicas ou magnesianas.

### **Aqüífero Adamantina**

A Formação Adamantina apresenta a área aflorante mais extensa dentre as Formações do Sistema Aqüífero Bauru, no Estado de São Paulo. Observa-se que as águas do Aqüífero Adamantina apresentam uma amplitude de variação para o parâmetro nitrato de <0,01 a 4,7 mg/L N, encontrando-se em 91,3% dos resultados concentrações menores ou iguais a 2,5 mg/LN, sendo em 67% dos resultados menor ou igual a 1 mg/L N.

A concentração de ferro é encontrada acima do padrão de potabilidade em apenas 1 poço tubular, em 98% dos resultados a concentração de ferro foi menor que 0,12 mg/L.

Foram observadas concentrações mais elevadas de fluoreto na região de São José do Rio Preto, nos municípios de Cajobi (0,1 a 0,86 mg/L) e Indiaporã (0,07 a 0,7 mg/L).

Predominam, segundo o diagrama de Piper, duas famílias ou tipos hidroquímicos das águas subterrâneas na Formação Adamantina, bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e das águas bicarbonatadas sódicas. Secundariamente, existem águas cloro-sulfatadas (quatro pontos) cálcica ou magnesianas e cloro-sulfatadas sódica (dois pontos).

### **Aqüífero Santo Anastácio**

Observa-se que as águas do Aqüífero Santo Anastácio apresentam valores de pH mais elevados do que da Formação Adamantina, o 3º quartil (75%) da Formação Adamantina é de 7,2; enquanto que da Formação Santo Anastácio é de 8,1.

Os parâmetros temperatura, condutividade elétrica, dureza de cálcio, dureza de magnésio, alcalinidade de bicarbonato, determinados na Formação Santo Anastácio, apresentam certa homogeneidade em relação à mediana, com os da Formação Adamantina.

O nitrato em 75% dos resultados é menor que 0,43 mg/L. O valor da mediana na Formação Adamantina é de 0,75 mg/L N, enquanto que na Formação Santo Anastácio é de 0,3 mg/L N.

Predomina na Formação Santo Anastácio, segundo o diagrama de Piper, a família das águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, secundariamente existe água da família bicarbonatada sódica (quatro pontos).

### **Aqüífero Itararé**

As águas do Aqüífero Itararé apresentam pH predominantemente básico, sendo que em 89% das amostras o pH está acima de 7,0. Destaca-se que este aqüífero foi o que apresentou as concentrações mais elevadas de fluoreto, sendo que em 2 poços tubulares, localizados nos municípios de Capela do Alto e Cesário Lange, apresentam concentrações acima do padrão de potabilidade da Portaria nº 1469/00.



Para os parâmetros carbono orgânico dissolvido, alcalinidade de bicarbonato, sódio, cloreto, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais e resíduo seco a 180°C verificou-se uma maior amplitude de variação, quando comparado aos demais aquíferos.

As águas dos poços tubulares localizados nos municípios de Itapetininga, Sarapuí, São Miguel Arcanjo e Tatuí, na região de Sorocaba, são pouco mineralizadas, sendo que 74% dos resultados obtidos de sólidos totais dissolvidos são menores do que 180 mg/L. Ao contrário, as águas dos poços localizados nos municípios de Capela do Alto, Cesário Lange e Iperó, também na região de Sorocaba, apresentam teores de sólidos dissolvidos totais bastante elevados, sendo que 81% são maiores que 450 mg/L, encontrando-se uma variação da condutividade elétrica nestes poços entre 579 e 1070  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Nos poços tubulares localizados nos municípios de Cesário Lange e Iperó, as concentrações de sulfato e sódio são bastante elevadas, quando comparados com os outros sistemas aquíferos, variando de 118 a 264 mg/L e de 120 a 268 mg/L, respectivamente. Vale observar ainda que, em função da elevada condutividade elétrica e concentrações de sódio e cloreto, as águas nestes poços não são apropriadas para a irrigação, podendo apresentar risco de promover a salinização do solo.

No caso de nitrato as concentrações são menores do que 0,2 mg/L N em 93% das análises realizadas e estão compreendidas no intervalo de 0,004 a 0,43 mg/L N.

Neste aquífero predominam duas famílias de águas: as bicarbonatadas sódicas, (maior densidade de pontos no diagrama de Piper) e as bicarbonatadas cálcicas. Secundariamente (seis pontos no diagrama de Piper) encontra-se a família das águas cloro-sulfatada sódica.

### **Aquífero Taubaté**

Analisando os resultados obtidos, as águas subterrâneas do Aquífero Taubaté, observa-se uma concentração de ferro total superior aos demais sistemas, junto do padrão de potabilidade da Portaria 1469/00, sendo o poço tubular localizado no município de São José dos Campos, aquele que mostra concentrações mais elevadas de ferro, em função de sua proximidade aos afloramentos das rochas cristalinas.

O mesmo fato pode ser dito para o manganês, sendo o único sistema aquífero que apresenta valor de mediana acima do limite de detecção. Também, neste caso o poço tubular acima referido apresenta as maiores concentrações de manganês, variando de 0,05 a 0,19 mg/L, com um resultado acima do padrão de potabilidade da Portaria nº 1469/00, que é de 0,1 mg/L.

O potássio, o cádmio também apresentam concentrações mais elevadas, quando comparados com os resultados obtidos para os outros sistemas aquíferos. Para o potássio, a maior concentração foi verificada no poço tubular localizado no município de Roseira. O cádmio apresenta

concentrações variando entre  $<0,0001$  e  $0,02$  mg/L, porém a série histórica de dados para este metal é pouco representativa para obter-se maiores conclusões.

Em 100% das análises bacteriológicas realizadas não foi constatada a presença de coliformes fecais e/ou totais.

Também neste aquífero predominam duas famílias de água: as bicarbonatadas sódicas (seis pontos no diagrama Piper) e bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas (cinco pontos no diagrama Piper). Secundariamente, encontra-se as águas sulfatadas sódicas (dois pontos indicando no diagrama Piper).

### **Aquífero Serra Geral**

Os basaltos afloram numa extensão de aproximadamente  $32.000$  km<sup>2</sup>, estendendo-se por toda a região oeste e central do Estado, subjacentes aos sedimentos do Grupo Bauru. Sua espessura varia desde poucos metros, aumentando para oeste até  $1.000$  metros. A recarga para este aquífero se dá por meio da precipitação pluvial sobre os solos basálticos, além disso, ocorre um grande intercâmbio de água com o Sistema Aquífero Bauru subjacente e, também, com o Sistema Aquífero Guarani, subjacente.

Neste aquífero foi detectado a presença de nitrato em um poço tubular localizado no município de Pederneira, a concentração varia de  $0,38$  a  $2,96$  mg/L, embora o 3º quartil (75%) é igual a  $0,3$ mg/L. Apesar desse valor estar bem abaixo do limite padrão de potabilidade ( $10$ mg/L N), este fato deve ser considerado como alerta para que sejam tomadas medidas de proteção da qualidade dessas águas. Segundo os resultados obtidos suas águas apresentam baixos teores de potássio e fluoretos, apresentando-se pobre em sais.

Neste aquífero predominam duas famílias das águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, e das águas bicarbonatadas sódicas. Secundariamente, existem águas cloro-sulfatada cálcica ou magnesiana (três pontos).

### **Aquífero Cristalino**

Avaliando as águas do Aquífero Cristalino, na região de Campinas, observa-se que são pouco mineralizadas com sólidos dissolvidos totais variando de  $99$  a  $271$  mg/L, com 83% dos resultados são menores do que  $200$  mg/L; em 100% dos resultados a dureza é inferior a  $85$  mg/L de CaCO<sub>3</sub> e a concentração de ferro total é menor que  $0,12$  mg/L.

Na região de Sorocaba, os resultados para os sólidos dissolvidos totais variam de  $38$  a  $158$  mg/L, a dureza total encontra-se entre  $14$  e  $86,6$  mg/L CaCO<sub>3</sub> e o ferro total apresenta concentrações mais elevadas, de  $<0,12$  a  $0,77$  mg/L.

Em nenhuma das análises foi constatada a presença de coliformes fecais e somente um poço tubular, localizado no município de Tuiuti, apresentou coliformes totais.

As águas deste aquífero apresentam as menores temperaturas dentre os sistemas aquíferos monitorados, com mínima de 19°C e máxima de 25°C.

Em um único poço tubular localizado no município de Ibiúna foram detectadas concentrações elevadas de cálcio, dureza total, sólidos dissolvidos totais, resíduo seco a 180°C, condutividade elétrica, fluoreto e sulfato. Segundo o perfil litológico, este poço está captando água do Aquífero Cristalino, entretanto, as características hidrogeoquímicas de suas águas são semelhantes ao Sistema Aquífero Itararé.

Neste aquífero há predomínio das águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e secundariamente, águas sulfatadas cálcicas ou magnesianas (três pontos no diagrama Piper).

### **Valores orientadores**

A Tabela 3 apresenta os valores de referência de qualidade das águas subterrâneas para os aquíferos livres a semi-confinados e confinados, que foram estabelecidos com base nos resultados obtidos no monitoramento e os valores de intervenção já adotados para o Estado de São Paulo.

Pode-se verificar a partir das tabelas 1 e 2, que as diferenças observadas para os resultados dos metais foram relacionados principalmente se o aquífero apresenta-se livre ou confinado, destacando para aquífero livre o Taubaté, que geralmente apresentou concentrações mais elevadas de metais. Desta forma, separou-se este aquífero dos demais. Para as substâncias orgânicas, definiu-se como valor de referência de qualidade o limite de detecção do método analítico.

TABELA 3 - Valores de referência de qualidade propostos e os valores de intervenção adotados para as águas subterrâneas no Estado de São Paulo.

Parâmetro	Referência de Qualidade			Intervenção
	Aqüífero Livre a Semi- Confinado		Aqüífero Confinado	
	Taubaté	Outros <sup>(7)</sup>		
Alumínio	<10	50	30	200 <sup>(2)</sup>
Antimônio	--	--	--	5 <sup>(1)</sup>
Arsênio	3	<2	<2	10 <sup>(1)</sup>
Bário	<400	<400	<400	700 <sup>(1)</sup>
Cádmio	0,35	0,4	<0,1	5 <sup>(1)</sup>
Chumbo	<2	<2	<2	10 <sup>(1)</sup>
Cobalto	--	--	--	30 <sup>(5)</sup>
Cobre	--	--	--	2000 <sup>(1)</sup>
Cromo	10	3 <sup>6</sup>	<3	50 <sup>(1)</sup>
Ferro	290	<120	120	300 <sup>(2)</sup>
Manganês	75	<9	<9	100 <sup>(2)</sup>
Mercúrio	<0,3	<0,3	<0,3	1 <sup>(1)</sup>
Molibdênio	--	--	--	250 <sup>(5)</sup>
Níquel	--	--	--	50 <sup>(4)</sup>
Prata	--	--	--	50 <sup>(3)</sup>
Selênio	--	--	--	10 <sup>(1)</sup>
Vanádio	--	--	--	--
Zinco	--	--	--	5000 <sup>(2)</sup>
Benzeno		2,5		5 <sup>(1)</sup>
Tolueno		2,5		170 <sup>(2)</sup>
Xilenos		2,5		300 <sup>(1)</sup>
Estireno		2,5		20 <sup>(1)</sup>
Naftaleno		--		100 <sup>(5)</sup>
Diclorobenzeno		--		40 <sup>(5)</sup>
Hexaclorobenzeno		0,002		1 <sup>(1)</sup>
Tetracloroetileno		2,5		40 <sup>(1)</sup>
Tricloroetileno		2,5		70 <sup>(1)</sup>
1,1,1 Tricloroetano		--		600 <sup>(5)</sup>
1,2 Dicloroetano		2,5		10 <sup>(1)</sup>
Cloreto de Vinila		--		5 <sup>(1)</sup>
Pentaclorofenol		0,1		9 <sup>(1)</sup>
Triclorofenol		0,2		200 <sup>(1)</sup>
Fenol		--		0,1 <sup>(3)</sup>
Aldrin e Dieldrin		0,005		0,03 <sup>(1)</sup>
DDT		0,01		2 <sup>(1)</sup>
Endrin		0,015		0,6 <sup>(1)</sup>
Lindano ( $\delta$ -BHC)		0,005		2 <sup>(1)</sup>

(1) Padrão de Potabilidade da Portaria 1.469 do Ministério da Saúde para Substâncias que apresentam risco à saúde

(2) Idem anterior, para aceitação de consumo (critério organoléptico).

(3) Padrão de Potabilidade da Portaria 36;

(4) Comunidade Econômica Européia ; (5) Com base no valor de intervenção para solos -Cenário Agrícola/Área de Proteção Máxima ;

(6) Com exceção do Sistema **Aqüífero Bauru onde o VRQ para cromo é 40 µg/L**

(7) Sistemas Aqüíferos: Bauru, Itararé, Serra Geral e Embasamento Cristalino ;

(8) -- não estabelecido.

## **Avaliação da Alteração da Qualidade das Águas Subterrâneas**

Os contaminantes se movimentam, tanto na zona não-saturada como na zona saturada, acompanhando o fluxo da água. Entre os contaminantes inorgânicos, considerados nocivos à saúde, o nitrato é o que apresenta ocorrência mais generalizada e problemática, devido a sua alta mobilidade.

O tipo de rocha não influi substancialmente na variação do teor de nitratos e graças a isso, trata-se de um elemento, cuja elevação da concentração nas águas subterrâneas, indica a influência de fontes de contaminação, tais como: esgoto doméstico (fossas), lixo, fertilizantes agrícolas, agrotóxicos e efluentes ou resíduos industriais. Sua presença em concentrações acima do padrão de potabilidade, nas águas subterrâneas utilizadas para o abastecimento público, pode provocar a doença infantil denominada metahemoglobinemia, sendo também apontado como um possível causador de câncer.

A presença de coliformes fecais nas águas subterrâneas também pode ser indicativo de uma contaminação antrópica, principalmente em aquíferos livres, localizados em áreas sem um sistema eficiente de coleta e tratamento de esgotos.

O cromo total também foi considerado, neste trabalho, como elemento indicativo de efeito antrópico, apesar das controvérsias existentes sobre suas origens, por se tratar de um metal associado à atividade industrial e por estar presente naturalmente em alguns tipos de rocha.

Outros metais também podem indicar alterações da qualidade natural, sendo que para este caso, a conclusão sobre a contaminação torna-se mais difícil, que pode ser natural de um tipo específico de rocha, na qual o aquífero se insere.

Com o objetivo de diagnosticar alterações na qualidade das águas subterrâneas utilizadas para abastecimento público, foi efetuada uma análise dos resultados obtidos no monitoramento da CETESB para poços tubulares para avaliar a ocorrência de alteração na hidrogeoquímica natural para nitrato e para avaliar os poços tubulares com indícios de contaminação e contaminados por nitrato, cromo total e coliformes fecais.

A Tabela 4 apresenta a estatística descritiva para o nitrato comparando os resultados obtidos nos períodos de 1995 a 1997 com 1998 a 2000 para os Sistemas Bauru e Guarani.

Tabela 4 - Resultados da estatística descritiva para nitrato obtidos para os poços da rede de monitoramento nos períodos de 95-97 e 98-00.

Sistema Aquífero	Período de análise	Amplitude de Variação (mg/L)	mediana (mg/L)	Quartil 75% (mg/L)	Campanhas de amostragem (número)
Bauru	95-97	<0,02 a 4,97	0,42	1,045	311
	98-00	<0,01 a 4,7	0,75	1,139	230
Guarani	95-97	<0,01 a 4,7	<0,05	0,156	189
	98-00	<0,01 a 1,38	<0,04	0,23	189

Fontes: modificado de CETESB 1997 [11] e 2001 [2]

Percebe-se um acréscimo na mediana e quartil 75% para o Sistema Bauru e do quartil 75% para o Guarani. Este resultado pode indicar que já existe uma contribuição antrópica interferindo na qualidade das águas subterrâneas no estado de São Paulo. Embora o período estudado (1995 – 2000) é restrito para conclusões a este respeito, serve entretanto como uma alerta indicando de comprovar esta tendência, avaliar suas causas e providenciar medidas de controle e proteção desses poços de abastecimento.

#### Alterações da qualidade - Nitrato

Em 14 poços da rede de monitoramento, o parâmetro nitrato apresenta resultados acima de 5,0 mg/L N, apontando assim, indícios de contaminação, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Poços com indício de contaminação por nitrato, dados de 1998-2000.

Município	Sistema Aquífero - Formação	Profundidade (m)	Amplitude de Variação (mg/L N)
Clementina (*)	Bauru -Adamantina	94	1,28 - 7,40
Nova Independência(*)	Bauru – Santo Anastácio	91	2,32 - 5,72
Ribeirão Bonito	Guarani - Botucatu	85	0,57 - 6,33
Avaí	Bauru - Marília	62	2,70 - 8,32
Presidente Alves	Bauru - Adamantina	80	1,35 - 5,38
Botucatu (*)	Guarani - Botucatu	76	3,24 - 4,84
Parapuã	Bauru - Adamantina	180	4,65 - 8,80
Pompeia	Bauru – Marília/Admantina	259	3,16 - 9,56
Paulínia	Itararé	180	4,21 - 7,60
Monte Castelo	Bauru – Santo Anastácio/Caiuá	100	1,82 - 6,77
Santa Mercedes	Bauru - Adamantina	160	1,90 - 5,61
Orlândia (*)	Guarani - Pirambóia	450	0,02 - 6,20
Cajobi (*)	Bauru - Adamantina	126	2,19 - 8,30
Jales (*)	Bauru – Adamantina/Santo Anastácio	145	0,03 - 6,30

(\*) poços com indícios de contaminação, publicados CETESB, 1997 [11].

Segundo CETESB, 1997 [11], nas campanhas de amostragens realizadas no período de 1990 a 1997, encontrou-se doze poços tubulares que apresentavam indícios de contaminação por nitrato, localizados nos municípios de Andradina, Botucatu, Cajobi, Clementina, Indiana, Inúbia Paulista, Jales, Muritinga do Sul, Nova Independência, Orlândia, Tupã e Uchoa.

Destes, o poço tubular localizado no município de Uchoa, região de São José do Rio Preto, apresentou redução de concentração de nitrato; passando de 1,0 a 9,8 mg/L N em 1997 para 0,2 a 4,7 mg/L N em 2000, retornando sua qualidade adequada para consumo humano.

Em contra partida, na lista de poços com indícios de contaminação elaborada para o período 1998 a 2000, foram acrescentados aqueles localizados nos municípios de Ribeirão Bonito, Avaí, Presidente Alves, Parapuã, Pompéia, Paulínia, Monte Castelo e Santa Mercedes.

Além disso, os poços tubulares localizados nos municípios de Andradina, Indiana, Inúbia Paulista, Muritinga e Tupã, que em 1997 apresentavam indícios de contaminação, os resultados de 1998 a 2000 apresentam concentrações acima do limite de potabilidade de 10 mg/L N, estabelecido na Portaria 1469/00, sendo assim considerados contaminados.

A Tabela 6 apresenta os poços nos quais detectou-se concentrações de nitrato acima do padrão de potabilidade. Estes poços estão localizados nas regiões de Araçatuba, Marília, Presidente Prudente e São José do Rio Preto, e todos captam água do Sistema Aquífero Bauru.

Tabela 6 – Poços contaminados por nitrato, período de análise 1998-2000.

Município	Sistema Aquífero - Formação	Profundidade (m)	Amplitude de Variação (mg/L N)
Andradina	Bauru – Santo Anastácio/Caiuá	105	5,4 - 17,5
Muritinga do Sul	Bauru – Adamantina/Santo Anastácio	140	4,2 - 20,9
Tupã	Bauru – Adamantina/Santo Anastácio	122	3,9 - 10,8
Indiana	Bauru – Adamantina/Santo Anastácio	151	2,2 - 17,5
Inúbia Paulista	Bauru – Adamantina/Santo Anastácio	220	5,4 - 18,4
General Salgado	Bauru – Adamantina/Santo Anastácio	169	3,6 - 11,4

A maior concentração de nitrato observada foi de 20,9 mg/L N, no poço localizado no município de Muritinga do Sul, região de Araçatuba. É importante observar que na análise realizada em março de 2001, a concentração de nitrato encontrado neste poço foi de 18,4 mg/L N, continuando portanto, quase duas vezes acima do limite padrão de potabilidade. A água desse poço não tem qualidade para consumo humano, podendo entretanto ser misturada com as águas de outros poços, para diluição da concentração de nitrato e atender aos padrões de potabilidade, considerando-se que esse município é totalmente abastecido por água subterrânea.

Em 1997, estes mesmos poços, com exceção do poço localizado no município de General Salgado, apresentavam indícios de contaminação. Foi levantada, na época, a suspeita de que a provável fonte de nitrato poderia ser o uso de fertilizantes na agricultura, considerando-se que o teor de potássio também apresentava-se elevado nesses poços.

Como as concentrações de nitrato foram aumentando no decorrer do tempo, em abril de 1999 a CETESB realizou, nesses cinco poços, uma campanha de amostragem para a determinação de biocidas organoclorados, biocidas organofosforados e os herbicidas fenoxiácidos clorados. Foram determinados 16 parâmetros para os biocidas organoclorados, 15 parâmetros para os biocidas organofosforados e 3 parâmetros para os herbicidas fenoxiácidos clorados, totalizando 34 parâmetros. De um total de 170 amostras analisadas, 100 % dos resultados foram ND– menor que o limite de detecção. Isso demonstra a ausência dessas substâncias nas águas dos poço, indicando que esses compostos por sofrerem atenuação (adsorção ou degradação), não devend ser utilizados como indicadores de poluição para as águas subterrâneas.

#### **Alteração da qualidade - Cromo Total**

Em 18 poços foram encontrados valores de cromo total acima do padrão de potabilidade da Portaria nº 1469/00, que é de 0,05 mg/L de Cr. A maioria dos poços está localizada nas regiões de Presidente Prudente e São José do Rio Preto e todos os poços captam água da Formação Adamantina e/ou Santo Anastácio, pertencentes ao Sistema Aquífero Bauru.

A Tabela 7 apresenta os poços tubulares cuja concentração de cromo ultrapassou o padrão de potabilidade estabelecidos da Portaria nº 1469/00. Os poços localizados nos municípios de Alfredo Marcondes, Caiabu, Dirce Reis, Guzolândia, Potirendaba e São João das Duas Pontes, já apresentavam concentrações elevadas de cromo total no monitoramento realizado no período de 1990 a 1997, CETESB, 1997 [11]. Observou-se que no poço localizado no município de Taquaritinga houve redução da concentração desse parâmetro com relação ao monitoramento realizado até 1997.



Tabela 7 - Poços contaminados por cromo total, dados de 1998 – 2000.

Município	Sistema Aquífero - Formação	Amplitude de Variação (mg/L Cr)
Sud Mennucci	Bauru – Santo Anastácio	0,05 - 0,08
Valparaíso	Bauru – Adamantina/Santo Anastácio	0,01 - 0,06
Alfredo Marcondes	Bauru – Adamantina/Santo Anastácio	0,007 - 0,12
Caiabu	Bauru – Adamantina/Santo Anastácio	0,04 - 0,11
Flórida Paulista	Bauru - Adamantina	0,04 - 0,14
Mariápolis	Bauru – Santo Anastácio	0,03 - 0,06
Pirapozinho	Bauru – Adamantina/Santo Anastácio	0,04 - 0,05
Aparecida do Oeste	Bauru – Santo Anastácio	0,03 - 0,12
Dirce Reis	Bauru – Adamantina/Santo Anastácio	0,03 - 0,11
Fernando Prestes	Bauru - Adamantina e Serra Geral	0,02 - 0,05
Guzolândia	Bauru – Adamantina/Santo Anastácio	0,03 - 0,10
Jales	Bauru – Adamantina/Santo Anastácio	0,01 - 0,08
Marinópolis	Adamantina	0,04 - 0,09
Mirassol	Adamantina	0,03 - 0,10
Potirendaba	Adamantina	0,02 - 0,09
São João Duas Pontes	Adamantina	0,04 - 0,11
São José Rio Preto	Adamantina	0,02 - 0,09
Novais	Adamantina	0,04 - 0,06

De acordo com ALMODAVAR, 1995 [12], as altas concentrações de cromo encontradas nos sedimentos do município de Urânia, região de São José do Rio Preto, evidenciam que o cromo pode ser de origem natural, associados aos sedimentos da formação Adamantina. Por outro lado, as duas regiões onde estão sendo encontrados elevados teores de cromo total, são regiões com disposição no solo de resíduos sólidos da Indústria de Couro.

A origem do cromo nesses poços deve portanto ser investigada, assim como sua localização em relação às fontes potenciais de poluição. Deverá ser também verificada as condições construtivas e de proteção atuais desses poços, uma vez que, para compor a rede de monitoramento o critério básico de seleção do poço é que ele esteja bem construído.

#### **Alteração da qualidade - coliformes totais e/ou fecais.**

Utilizou-se como índice de medida da característica bacteriológica das águas subterrâneas os coliformes totais e fecais e a densidade bacteriológica.

No período de 1998 a 2000, foram realizadas 2.347 análises bacteriológicas, deste total, foram detectadas a presença de coliformes totais e/ou fecais em 7% das amostras do Aquífero Adamantina; em 6% das amostras no Aquífero Santo Anastácio; em 4,7% no Aquífero Adamantina – Santo Anastácio; em 6% das amostras do Sistema Aquífero Guarani; em 8,7% das amostras no Sistema Aquífero Itararé; em 7% das amostras no Aquífero Cristalino. Não detectou-se a presença de coliformes totais e/ou fecais no Sistema Aquífero Taubaté.

Os poços localizados nos municípios de Santa Lúcia, Paulínia, Pedregulho e Novais, foram aqueles onde a presença de coliformes totais e/ou fecais foram mais constantes, destacando-se o poço localizado em Novais onde foi constatada a presença de coliformes totais e fecais, nas quatro últimas campanhas de amostragens realizadas.

## CONCLUSÃO

Pode-se concluir que os sistemas aquíferos do Estado apresentam-se com excelente qualidade para consumo humano, evidenciada pelos resultados dos parâmetros indicadores que estão abaixo dos padrões de potabilidade, embora existam episódios pontuais de contaminação para alguns poços. Esse recurso é estratégico para o desenvolvimento do Estado, onde o Sistema Aquífero Guarani destaca-se como o mais importante do ponto de vista de abastecimento público. A CETESB tem a atribuição legal de garantir a manutenção da qualidade desse recurso, controlando de forma diferenciada as cargas poluidoras potenciais instaladas nas áreas de elevada vulnerabilidade.

O acompanhamento sistemático da evolução da qualidade das águas subterrâneas, por meio do monitoramento que vem sendo realizado pela CETESB, possibilitou constatar concentrações de cromo total e nitrato acima do padrão de potabilidade no Sistema Aquífero Bauru, nas Formações Aquíferas Adamantina e/ou Santo Anastácio. Com as informações disponíveis até o momento, considera-se que o Sistema Aquífero Bauru, é o mais suscetível à contaminação. Quanto ao Sistema Aquífero Guarani, observou-se indício de contaminação por nitrato em 5% dos poços monitorados.

Os resultados obtidos mostram que dos 132 poços tubulares da rede de monitoramento, 14 (10,6%) apresentam concentrações de nitrato consideradas como indícios de contaminação e 6 (4,5%), apresentam concentrações de nitrato acima do padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria 1469, que é de 10 mg/L N. Os poços contaminados estão captando água na Formação Adamantina e Santo Anastácio, localizados nos municípios de Andradina, General Salgado, Indiana, Inúbia Paulista, Muritinga do Sul e Tupã.

De acordo com os dados de qualidade natural do Sistema Aquífero Bauru apresentados nas Tabelas 3 e 4, observa-se que a concentração de nitrato é maior na Formação Adamantina do que na Formação Santo Anastácio, em função de sua posição no perfil geológico. Existindo viabilidade técnica, é possível aos proprietários dos poços contaminados que captam água simultaneamente das duas formações, eliminar os filtros na porção do Aquífero Adamantina, viabilizando a continuidade de utilização desses poços. Além disso, os novos poços perfurados para substituir os que apresentaram contaminação, não deverão captar água na Formação Adamantina.

A presença de cromo total, acima do limite estabelecido para potabilidade que é de 0,05 mg/L Cr, foi constatada em 18 poços tubulares (13,6% do total de poços da rede), nas regiões de

Araçatuba, Presidente Prudente e São José do Rio Preto. Todos os poços captam água do Sistema Aquífero Bauru, mais especificamente das Formações Adamantina e/ou Santo Anastácio.

Comparando esses resultados com os dados publicados em 1997 no relatório da CETESB de qualidade das águas subterrâneas, conclui-se que ocorreu um aumento do número de poços contaminados por nitrato e por cromo. Essa constatação resultará em gestões junto à Secretaria de Saúde e seus Centros de Vigilância Sanitária a fim de evitar o consumo dessas águas sem os devidos tratamentos, bem como em ações de controle das fontes de poluição.

Foi possível também, elaborar uma tabela de valores de referência de qualidade, para os aquíferos livres a semi-confinados e para os aquíferos confinados. Para metais, o valor de referência foi estabelecido com base nos resultados analíticos das águas subterrâneas, enquanto que para as substâncias orgânicas, o VRQ foi estabelecido como sendo o limite de detecção do método analítico utilizado nos laboratórios da CETESB. Desta forma, este trabalho apresenta uma tabela com os valores orientadores para as águas subterrâneas de forma complementar à já adotada pela CETESB e publicada no Diário Oficial [7].

O Sistema Aquífero Bauru, que é livre e ocupa 42% da superfície do Estado, encontra-se em alguns pontos, com sua qualidade alterada para o indicador de qualidade nitrato. Desta forma, o controle das fontes de poluição das águas subterrâneas, incluindo as difusas como as atividades agro-industriais, deve ser executado de forma prioritária, afim de atenuar este impacto. Nessa região, atividades, tais como aplicação de efluentes líquidos e disposição de resíduos sólidos no solo, além de sistemas de tratamento de efluentes por lagoas, deverão ser evitados ou, quando utilizadas, devem atender aos critérios específicos de proteção das águas subterrâneas descritos na legislação vigente e normas técnicas.

Nas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos localizadas em áreas vulneráveis, as fontes prioritárias pontuais e difusas devem ser controladas, atendendo à legislação estadual de águas subterrâneas, afim de proteger a qualidade desse recurso hídrico.

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

- [1] COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, CETESB. **Uso das Águas Subterrâneas para Abastecimento Público no Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 1997, 47p.
- [2] COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, CETESB. **Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo 1998 - 2000**. São Paulo: CETESB, 2002, 177p.

- [3] AGUDO, E.G. *et al.* **Guia de coleta e preservação de amostras de água.** São Paulo: CETESB, 1989, 150p.
- [4] APHA. **Standar methods for examination of water and wastewater.** 20<sup>a</sup> ed. Washington : APHA-AWWA-WPCF, 1998.
- [5] DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO - DOU. **Executivo.** 10.01.2001. p.26 – Republicação. Incorreção no D.O.U. 02.01.2001. p19.
- [6] COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, CETESB. **Estabelecimento de padrões de referência de qualidade e valores de intervenção para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo: relatório final. 2001.** São Paulo : CETESB, 2002. 248p.
- [7] DIÁRIO OFICIAL DO ESTADO - DOE. **Empresarial.** De 26.10.2001. p18.
- [8] HIRATA, R.C.A; RODOLFI, G. **Presença de cromo nas águas em Urânia, São Paulo.** Secretaria de Estado do Meio Ambiente/Instituto Geológico. 1993. 24p. (Relatório Técnico)
- [9] KIMMELMANN, A.A.; *et al.* 1990 Considerações sobre as anomalias de fluoretos no Sistema Aquífero Botucatu-Pirambóia, na Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 6. Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre: ABAS, 16-19 set., 1990. p.107-111.
- [10] DIAS, C.L.; SILVA, M.F.B.; BUCCI, E.M.; LEMOS, M.M.G. e CASARINI, D.C.P. Caracterização Hidrogeoquímica e qualidade do Sistema Aquífero Guarani obtida com dados do monitoramento efetuado pela CETESB em poços tubulares para abastecimento público no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12. Curitiba, PR. **Anais...** ABAS, 2002.
- [11] COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, CETESB. **Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo.** São Paulo: CETESB, 1997. 106p., com ilustração.
- [12] ALMODOVAR, M.L.N. **Estudo da anomalia de cromo nas águas subterrâneas da região noroeste do Estado de São Paulo.** São Paulo, SP. 1995. 101p. Dissertação (mestrado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1995